

**Дорошенко В.С., Шалевський А.В., Калюжний П.Б.**

**(ФТІМС НАН України, м. Київ)**

## **НАСЛІДУВАННЯ БІОНІЧНОЇ СТРУКТУРИ ГАРТУВАННЯМ ЛИТИХ РОБОЧИХ КОМПОНЕНТІВ, ЩО САМОЗАГОСТРЮЮТЬСЯ**

**E-mail: doro55v@gmail.com**

Застосування та розробка високих технологій визначають потенціал розвитку країни, формують підґрунтя росту рівня добробуту населення. Сьогодні все частіше при виготовленні обладнання та компонентів сільгосптехніки виробники застосовують таку досить нову обробку матеріалів з отриманням ізотермічно загартованих (austempered) чавунів, а саме: високоміцного чавуну (ВЧ) типу ADI, сірого типу AGI і карбідного (carbide) ВЧ (CADI) [1], що пройшли ізотермічне гартування (ІГ). Тому є важливою розробка нових способів застосування таких недорогих за вартістю матеріалів на основі заліза, які здатні в 1,5...2 рази підвищити показники литих конструкцій ґрунтообробної техніки, різальних і ударних інструментів, порівняно з такими ж конструкціями, що не пройшли ІГ. Зокрема, для CADI вводять карбіди у чавунну матрицю під час процесу лиття, після чого ізотермічно гартують і отримують контрольований відсоток карбідів в аусферитній матриці [1, 2]. Також відомий ВЧ типу Quenched-Tempered Ductile Iron (QTDI), котрий загартовують охолодженням нижче температури мартенситного перетворення з наступною ізотермічною витримкою в інтервалі температур бейнітного перетворення, після чого в його структурі залишаються вільні карбіди [3, 4].

З розробок ФТІМС НАНУ відомо спосіб виготовлення деталей з залізо-вуглецевих сплавів [4], що на відміну від традиційного ізотермічного гартування (рис. 1, а) включає нагрівання до температури аустенізації  $T_a$ , витримку протягом  $\tau_a$ , прискорене охолодження у воді до температури 100...250 °С, та ізотермічну витримку в печі при  $T_{iso}$  тривалістю  $\tau_{iso}$  (рис. 1, б). Таке охолодження у воді до температури 100 °С у поверхневих шарах (візуально визначається по кипінню води), тобто, трохи нижче температури мартенситного перетворення  $M_n$  (~200 °С), забезпечує часткове мартенситне перетворення (~10...20%). Внутрішні шари ме-

талу при цьому мають більш високу температуру (вище 200...250 °С), у яких мартенситне перетворення може і не розпочатися. Прискорене перенесення в піч, нагріту до необхідної температури ізотермічної витримки  $T_{izo}$  (250...400 °С), зупиняє мартенситне перетворення, що почалося, в металі при такій витримці проходить перетворення аустеніту на бейніт. Частина мартенситу, що утворилася, відпускається до структури трооститу [4].

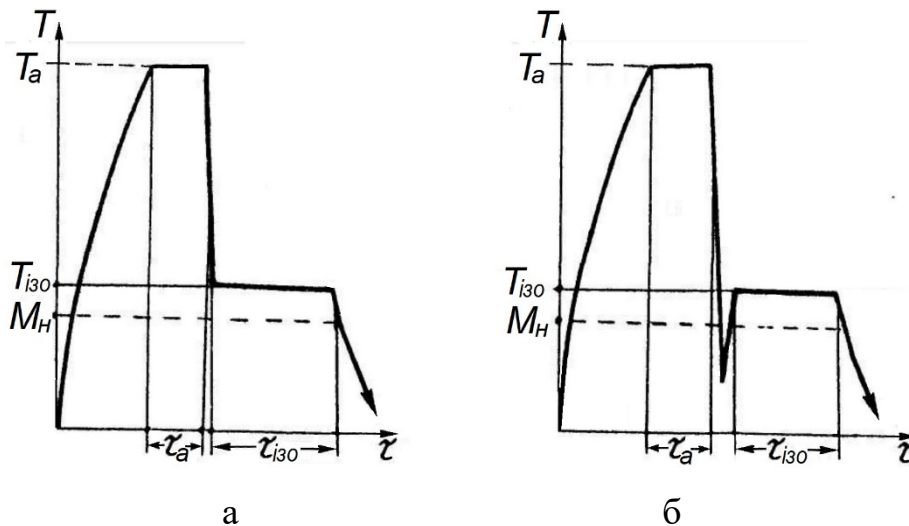


Рис. 1. Температурний режим ізотермічного гартування [4]

Також відома технологія [5], за якої виливки вилучають з ливарних форм при температурі вище евтектоїдного перетворення – 900...1000 °С і протягом 5...15 с, переміщують у рідку ванну з охолодженням до температури, що визначається необхідним типом структури. Перелік структур металевої матриці і рекомендовані інтервали температур для їх отримання у виливках з ВЧ показано в роботі [5]. Також описано приклад отримання структури бейніту з твердістю 320...352 НВ у вилівку (з литого стану) після його «гарячого» вибивання з форми при температурі 920...950 °С та подальшого ІГ при температурі 300...320 °С [5]. Схожі ТО також відомі для виливків зі сталі. На рис. 2 показано приклад видалення гарячих виливків авторами статті з сирової піщано-глинястої форми та при литті за ЛГМ-процесом з контейнерних форм з сухого піску, які вакуумуються при заливанні форми металом і затвердінні виливка.



Рис. 2. Приклад видалення гарячих виливків з сирої піщано-глинястої форми та гарячих молольних куль (для млинів) з форми за ЛГМ-процесом

Створення нового методу виробництва ґрунтувалось на основі розгляду інтервалів твердості бейнітних ВЧ та інформації з області біоніки. В роботі [6] вказано такі значення мікротвердості НВ бейнітних та мартенситних чавунів згідно їх структур: бейніт – 280...350, бейніт + мартенсит – 350...550, мартенсит – 550...650, мартенсит відпуску – 300...550. Такий значний інтервал твердості, яку можна отримати на одному і тому ж виливку з ВЧ завдяки ТО, поєднали з повідомленнями з області біоніки, перенісши його на обробку металів, а саме те, що зуби бобра ростуть і ніколи не тупляться від того, що одна сторона зуба твердіша за іншу, і при сточуванні край зуба завжди залишається твердим та гострим [7]. Цим аргументували наступну мету нашої розробки: створення способу ТО виливків, зокрема, з ВЧ, що самозаточуються. Це б дозволило продуктивніше вести різальну, бурильну обробку матеріалів, ґрунту тощо.

Виникла ідея застосування чавунної оснастки як теплоізолятора для термообробки виливків. Для цього, як аналог, використали наш досвід застосування в піщаній формі металевих (чавунних) зовнішніх холодильників, які накладають на модель, формують в піщану суміш для організації направлено затвердіння вилівка знизу вверх до надлива чи випора, та патент І. Г. Неїжка [4]. Подібні чавунні холодильники вирішили застосовувати на виливках з ВЧ в гарячому аустеніт-

ному стані металу, але ця чавунна оснастка (ЧО) має бути в нагрітому стані (до 250...900 °С) і діяти за принципом «нагрівальника» виливка, щоб його поверхня не охолола нижче температури  $M_n$  мартенситного перетворення при гартуванні у воді (зануренням чи спреєрною обробкою) згідно [4]. Тоді одна поверхня (без ЧО) зуба, лемеха, різця чи долота з ВЧ буде твердішою за іншу від того, що після ізотермічної витримки (250...400 °С) в дотичному до неї прошарку будуть вільні карбіді (більший відсоток карбідів), як у ВЧ типу QTDI чи CADi. А друга поверхня, як у прикладі [5], отримає, зокрема, структуру верхнього бейніту з твердістю ~320 HB.

Наслідуючи технологію [5], після видалення з форми гарячого (920...950 °С) виливка на нього вирішено додатково кріпити (навішувати, накладати) нагріту ЧО (аналогічну до конструкції металевого холодильника, що покриває одну поверхню виливка) і проводити гартування у воді, як у роботі [4], з охолодженням до температури нижче  $M_n$  з боку поверхні виливка, що контактує з водою. Іншу поверхню, захищену гарячою ЧО від надмірного охолодження, неначе переводять в середину гарячого виливка з температурою вище 250 °С, як за умов в описі [4]. Для виробництва такої ЧО доцільно застосовувати ЛГМ-процес з моделями, виготовленими з пінополістиролу (ППС), зокрема на 3D-фрезері. Також сухий сипкий пісок ливарних форм при ЛГМ дозволяє легко видалити гарячий вилівок з форми (рис. 1, фото справа).

Приклади наших виливків і їх моделей для ЛГМ показано на рис. 3, де а – виливки культиваторів і їх моделі з ППС; б – вид плуга з лемехом 1, закріпленим на відвалі і лемехи 2, а також (нижче) моделі лемехів з ППС; в – моделі з ППС на столярку в вигляді модельного кластера (куща) для формовки в сухому піску контейнерної форми при ЛГМ. Можливі варіанти формовки ЧО на моделі з ППС (з наступним нагріванням ЧО теплом виливка, що утворюється на місці моделі) і покриття ЧО протипригарним шаром низької теплопровідності для кращого утеплення поверхні виливка. У випадках, якщо виливки симетричні, простої геометричної форми та такі, що їх можна збирати попарно і в такому стані гартувати, то тоді кожен вилівок щодо другого в гарячому стані може служити нагрівальною ЧО.

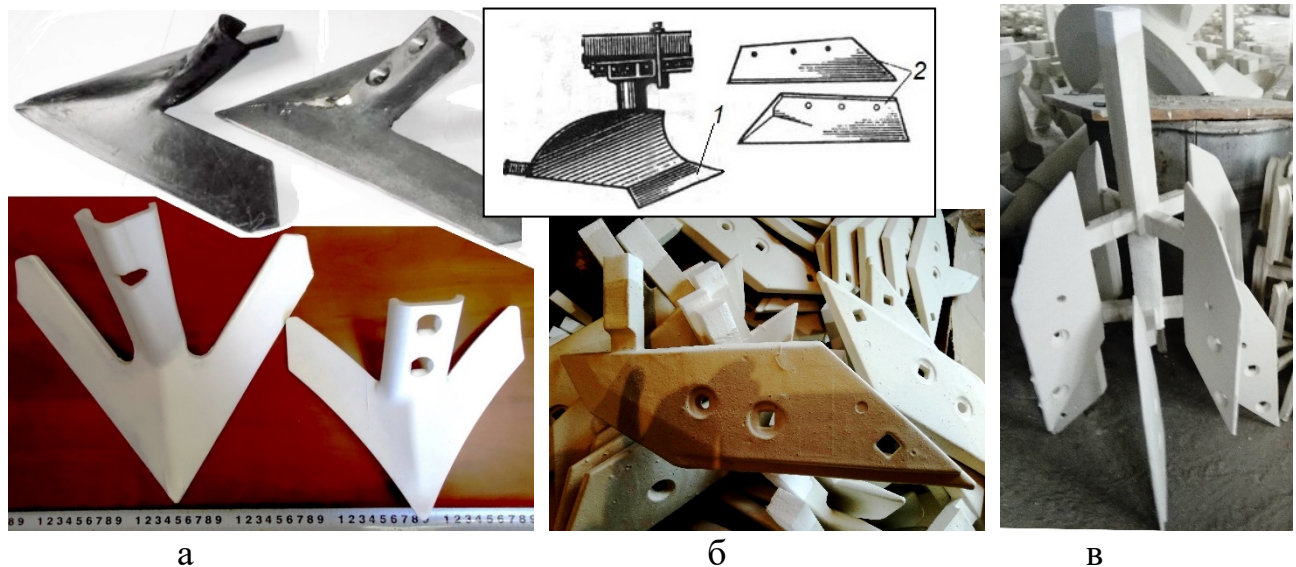


Рис. 3. Виливки культиваторів та їх ППС-моделі (а); плуг з лемехом 1, що кріплять на відвалі, і лемехи 2, а також (нижче) моделі лемехів з ППС (б); ці ж моделі на стояку (в) у вигляді модельного кластера для формовки в контейнері з піском за методом ЛГМ (виготовлено в ливарному цеху ФТІМС НАНУ)

Принагідно розглянемо спосіб гартування виливків у псевдо-зрідженому піску в ливарній формі, що має обнадійливу перспективу. Цей спосіб гартування гарячих виливків у псевдо-киплячому шарі піску (аеродинамічне перемішування) легко сумістити з литтям за ЛГМ-процесом [8], оскільки пісок засипано у контейнерну ливарну форму при формуванні ППС-моделі. Після затвердіння вилівка і досягнення ним температури 900...950 °С припиняють його самовільне охолодження у цій формі у формі і, видаливши його з форми починають гартування (з литого стану аналогічно технології [5]) тим способом, що подають повітря під тиском з нижньої частини контейнерної форми для створення у цьому контейнері псевдо-зрідження формувального піску шляхом рівномірного продування повітря або іншого газу крізь пісок у вертикальному напрямі знизу вгору. Швидкість охолодження гарячого вилівка про гартуванні в псевдозрідженому шарі піску по величині знаходиться між такими швидкостями його охолодження в оліві та воді. Після гартування вилівка (за тих же умов, що і у воді [4]) його переносять для ізотермічної витримки в нагріту піч. Для отримання лемеха з ВЧ з різною твердіс-

ттю поверхні виливок виливок пластини видаляли при  $920 \pm 15$  °С з сипкого піску форми. До гарячого виливка, розташованого пластиною вертикально, кріпили дротом крізь отвори ЧО – нагріту пластину такого ж виливка, попередньо вилито-го з сірого чавуну та нагрітого на електроплиті до температури вище  $420 \pm 10$  °С і проводили ІГ за патентом [4]. Твердість лемеха в експериментальному дослідженні на одній стороні складала близько 360 НВ, на іншій площині близько 290 НВ.

Література:

1. John R. Keough, PE. Tim Dorn, Kathy L. Hayrynen et al. Agricultural Applications of Austempered Iron Components. URL: <https://www.researchgate.net/publication/242359329>
2. International application WO2008076497A1. C22C 37/10, C21C 1/10. As-cast carbidic ductile iron / J. P. Lemke, R. E. Eppich. Publication 26.06.2008.
3. Saghafian L.H. et al. Comparison of Wear Behavior of a Ductile Iron in Austempered and Quenched-Tempered Conditions. URL: <https://www.researchgate.net/publication/356147832>
4. Патент 19545 А Україна, МПК C21D 1/18, C21D 5/00. Спосіб ізотермічного гартування деталей із залізвуглецевих сплавів / І.Г. Неїжко. Опубл. 25.12.1997. – Бюл. № 6.
5. Макаренко К. В. Рациональное структурирование графитизированных чугунов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2014. – № 2. – С. 196-205.
6. Найдек В.Л., Гаврилюк В.П., Неїжко И.Г. Бейнитный высокопрочный чугун. – Киев: ФТИМС НАН Украины, 2008. – 139 с.
7. Нахтигаль В. Бионика. М.: Мир книги, 2007. – 128 с.
8. Патент 106005 Україна, МПК B22D 27/04. Спосіб охолодження виливків у ливарній формі чи контейнері з сипким наповнювачем / В.С. Дорошенко, П.Б. Калюжний. - Опубл. 11.04.2016, Бюл. №7.